

Мхамад Ібрагім Ахмад Альома
Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОРТАМИ ПАКЕТНОГО КОМУТАТОРА

Досліджено метод динамічного перерозподілу потоків між портами пристрою пакетної комутації, що дозволяє збільшити припустиме навантаження мережевого обладнання без суттєвого погіршення якості надаваних мережевих послуг. Метод базується на поточній сплайн-інтерполяції у реальному часі динамічних характеристик пульсацій трафіка на портах пакетного комутатора та на адаптивному авторегулюванні смуг пропускання портів комутатора в залежності від характеристик пульсацій трафіку. Обраний спосіб поліноміальної сплайн-інтерполяції дозволяє отримати необхідну точність апроксимації реальних пульсацій трафіку. Для скорочення обсягу оброблюваних даних у процесі інтерполяції пропонується використовувати звісні методи прорідження експериментальних даних. Надані приклади правил авторегулювання смугами пропускання портів комутатора, що реалізують розглянутий метод.

Ключові слова: комп'ютерні мережі, вузлове обладнання, адаптивне управління, пакетний трафік, тренд трафіку.

Постановка проблеми. У процесі оптимізації роботи пакетної мережі, зазвичай, намагаються знайти розумний компроміс у досягненні двох протилежних цілей, сутність котрих полягає у наступному. З одного боку, намагаються покращити якість обслуговування, зокрема скоротити затримку пакетів та зменшити ймовірність втрати пакетів, що, на практиці, досягається, головним чином, за рахунок резервування ресурсів каналів передавання та комутуючих пристроїв. З іншого боку, намагаються, у міру можливостей, збільшити завантаження ресурсів мережі з метою покращення економічних показників їхнього використання. Величина коефіцієнту завантаження ресурсу з урахуванням тонкої структури умов його використання має вирішальне значення у задачах оптимізації роботи пакетних мереж, оскільки величина цього коефіцієнту безпосередньо впливає на довжину черг пакетів до ресурсу, на затримку пакетів у чергах і, за кінцевим рахунком, на якість надання послуг. Компроміс у досягненні вищезазначених цілей складає основний зміст інженерії трафіку.

Досягнення вищезазначеного компромісу шукають шляхом застосування засобів та механізмів боротьби з перенавантаженнями мережі [1, 2, 3]. Тим не менш, активне використання усіх цих механізмів, як показала експлуатаційна практика, дозволяє збільшити коефіцієнт завантаження мережевого обладнання у середньому до величини 0,5. Тому розробка методів управління ресурсами мережі, що дозволяють забезпечити подальше збільшення завантаження мережевого обладнання без помітного зниження якості мережевих послуг, є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Звісні методи кондиціювання трафіку на портах комутуючого пристрою [1, 2] не можуть бути використані для вирішення задачі динамічного перерозподілу пропускну здатності комутатора між його портами. Труднощі полягають у тому, що сучасний пакетний комутатор (магістральний або крайовий) – це швидкодіюча система. Тому, для того щоб забезпечити можливість фіксації у реальному часі поточних значень його параметрів, що пов'язані із обробкою динамічних характеристик пульсацій пакетного трафіку, необхідно накопичувати та оброблювати значні обсяги даних. Це потребує значних витрат обчислювальних ресурсів. У даному випадку такими ресурсами є обсяг пам'яті у загальній довідковій службі мережі (Directory Service), де зберігаються різноманітні

дані щодо поточного стану мережі (зокрема, дані служби QoS), і витрати часу на необхідну обробку цих даних. За умов прийнятних витрат вищезазначених ресурсів є сумнівним, щоб вдалося у реальному часі визначити усі необхідні для кондиціювання трафіку параметри. Тому суттєвий інтерес являють методи швидкісної обробки трафіку, що дозволяють виконати профілювання та формування трафіку на відносно невеликих обсягах даних.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Фізична природа пульсацій трафіка на портах комутатора носить випадковий характер і, на жаль, у багатьох випадках непередбачуваний характер, обумовлений нерегулярністю та непередбачуваністю генерування потоків даних на термінальних вузлах мережі [6]. Тим не менш, будь-яка пакетна мережа – це фізична інерційна система. Тому при виборі методів передбачення «поведінки» потоків пакетів на портах комутатора існує можливість використати звісні методи вирішення задач прогнозування, що розроблені для фізичних систем із швидкоплинними випадковими процесами. Зокрема, в якості динамічної характеристики (динамічної функції) випадкового процесу $v(t)$, «поведінку» котрого необхідно передбачити та відобразити в аналітичній формі, доцільно узяти кількість пакетів, що надходять до порту комутатора, як функції часу. Окрім цього, як буде показано далі, зручно прийняти до розгляду перші дві похідні від $v(t)$, тобто випадкову швидкість потоку $b(t) = dv(t)/dt$ та випадкове прискорення потоку $b^1(t) = d^2v(t)/dt^2$.

Першим кроком у вирішенні задачі визначення та прогнозування «поведінки» потоку пакетів на якому-небудь із портів комутатора є апроксимація даних моніторингу значень $v(t)$. Таку апроксимацію можна виконати на основі сплайн-інтерполяції, а для інтерполяції узяти конструкцію поліноміальних сплайнів відносно неперіодичних функцій.

Як показано у [7], сплайн-підхід до задачі апроксимації у просторі $L_2 [t_0, T_c]$ для сплайнів ступеню n та набору вузлів інтерполяції $t_i \in [t_0, \dots, t_i, \dots, t_n]$, де $i = 1, 2, \dots, n$, дає меншу похибку апроксимації у сенсі норми $L_2 [t_0, T_c]$, ніж розклад у ряд за багатьма іншими ортогональними базисами (Ерміта, Лагера, Чебишева і т.ін.).

Якщо б функцію $v(t)$ було можливим безперервно диференціювати необмежену кількість разів, то у цьому випадку доцільно обрати сплайни тригонометричного виду. Проте аналіз характеру пульсацій трафіку дозволяє лише сподіватися, що $v(t)$ можливо безперервно диференціювати не більше

s разів, де значення s апіорі не є зв'язним і його доводиться обирати виходячи із конкретних умов застосування комутатора. У такій ситуації, як показано у [8], доцільно використовувати кусково-поліноміальні сплайни виду

$$\tilde{v}(t, s) = Q_{2s+1}(t, k), \quad t \in [t_k, t_{k+1}], \quad k = 0, \pm 1, \dots, K, \quad (1)$$

де $Q_{2s+1}(t, k)$ – поліном ступеню не вище $2s + 1$, що визначається рівностями:

$$\left. \frac{d^m Q_{2s+1}(t, k)}{dt^m} \right|_{t=t_k} = \left. \frac{d^m P_s(t, v_{t_{kj}})}{dt^m} \right|_{t=t_k}, \quad \text{де } m = 1, 2, \dots, K, \dots, s. \quad (2)$$

$$\left. \frac{d^m Q_{2s+1}(t, k)}{dt^m} \right|_{t=t_{k+1}} = \left. \frac{d^m P_s(t, v_{t_{k+1j}})}{dt^m} \right|_{t=t_{k+1}}, \quad \text{де } m = 1, 2, \dots, K, \dots, s. \quad (3)$$

У виразах (1) – (3) вважається, що сплайн має безперервні похідні ступеню s , задані вузли інтерполяції t_k та значення функції $v(t_k) = v_{t_k}$ у вузлах, j – натуральне число у діапазоні $0 \leq j \leq s-1$. Кожній точці t_k надано інтерполяційний поліном $P_s(t, v_{t_k})$, котрий побудовано за значеннями $v(t_{k-j}), v(t_{k-j+1}), K, v(t_{k-j+s})$ у вузлах $t_{k-j}, t_{k-j+1}, K, t_{k-j+s}$.

Зазвичай поліном $Q_{2s+1}(t, k)$ представляють у вигляді суми класичного інтерполяційного поліному $P_s(t, v_{t_{kj}})$ та поправки до нього $R_{2s+1}(t, k)$, тобто

$$Q_{2s+1}(t, k) = P_s(t, v_{t_{kj}}) + R_{2s+1}(t, k). \quad (4)$$

Поправка згідно [8] представляється у вигляді

$$R_{2s+1}(t, k) = (t_{k+1} - t_k)^{s+1} v(t_{k-j}, t_{k-j+1}, \dots, K, \dots, t_{k-j+s+1}) q_{2s+1} \left(\frac{t-t_k}{t_{k+1}-t_k}, k \right), \quad (5)$$

де $v(t_{k-j}, t_{k-j+1}, K, t_{k-j+s+1})$ – різниче відношення порядку $s + 1$ та

$$q_{2s+1}(T, k) = \left(\frac{t_{k+s-j+1} - t_{k-j}}{t_{k+1} - t_k} \right) \sum_{r=0}^s \left\{ \left[\prod_{i=1}^s \left(T - \frac{t_{k-j+i} - t_k}{t_{k+1} - t_k} \right) \right]^{(r)} \right\} \lambda_r(T), \quad (6)$$

$$T = \frac{t - t_k}{t_{k+1} - t_k},$$

$$\lambda_r(T) = \frac{T^{s+1}(T-1)^r}{r!s!} \sum_{m=0}^{s-r} (-1)^m \frac{(s+m)!}{m!} (T-1)^m, \quad (7)$$

$[K]_{r-1}^{(r)}$ означає похідну по T порядку r , що обчислена при $T = 1$.

Якщо на часовому відрізку $[t_j, t_{j+1}] \subset [t_0, T_c]$, $0 \leq j \leq N-1$ є зв'язними $v(t)$ в $(n+1)$ -ій точці, а функція $v(t) \in C^n[t_j, t_{j+1}]$, то інтерполяційна формула надається у вигляді поліному Лагранжа ступеню n .

Похибка інтерполяційної формули у загальному вигляді оцінюють за значеннями нев'язки $R_n(t) = \|v(t) - \tilde{v}(t)\|$ на часовому відрізку $[t_j, t_{j+1}]$ як

$$R_n(t) \leq \sup_{t \in [t_j, t_{j+1}]} \left| \frac{d^{n+1} v(t)}{dt^{n+1}} \right| \frac{|\omega_n(t)|}{(n+1)!}, \quad \text{де } \omega_n(t) = \prod_{i=0}^n (t - t_i). \quad (8)$$

Інтерес викликає також оцінка похибки похідних від динамічної характеристики потоку пакетів. Для цього, маючи на увазі [8], призначимо розглянутий часовий відрізок наступним чином:

$$[t_j, t_{j+1}] = [t_{n-i}, t_{n-i+m+1}] \subset [t_0, T_c], \quad 0 \leq n \leq N-1, \quad 0 \leq i \leq m.$$

І далі будемо вважати, що функція $v(t)$ на цьому часовому відрізку має обмежену похідну порядку $m + 1$. Тоді похибка похідних від $v(t)$ на відрізках $[t_n, t_{n+i}] \subset [t_0, T_c]$ визначається наступним співвідношенням [9]:

$$\left| \frac{d^s v(t)}{dt^s} - \frac{d^s \tilde{v}(t)}{dt^s} \right| \leq \text{const} \frac{(t_{n-i+m+1} - t_{n-i})^{m+1}}{(t_{n+1} - t_n)^s} \times \max_{t_{n-i} \leq t \leq t_{n-i+m+1}} \left| \frac{d^{m+1} v(t)}{dt^{m+1}} \right|, \quad (9)$$

де $s = 0, 1, K, m; 0 \leq i \leq m$.

Ціль роботи. Головною метою даної роботи є збільшення корисного завантаження пакетного комутатора без суттєвого зниження якості обслугову-

вання у мережах із пакетною комутацією. Зокрема, досліджується механізм динамічного перерозподілу пропускної здатності пакетного комутатора (маршрутизатора або шлюзу) між його портами в залежності від змін поточного навантаження трафіком цих портів за умов, коли пропускна здатність комутуючого пристрою перерозподіляється між його портами пропорційно поточним величинам інтенсивностей потоків пакетів, що надходять до цих портів. Якщо, наприклад, миттєва інтенсивність потоку пакетів на одному із портів збільшується, то цьому порту виділяється більша частка пропускної спроможності комутатора за рахунок зменшення часток пропускної спроможності, що виділяються іншим портам. І навпаки, якщо потік пакетів на якомусь порту зменшується, то відповідно зменшується і частка пропускної спроможності комутатора, яка цьому порту виділяється.

Будемо вважати, що адаптивний перерозподіл доцільно здійснювати не тільки на основі визначення поточного стану характеристик потоків пакетів, що надходять до його портів, але і шляхом використання результатів прогнозування характеру змін інтенсивностей цих потоків. Тому що прогнозування «поведінки» потоків пакетів на портах комутатора дозволяє підвищити динамічні характеристики системи автоматичного регулювання і, за кінцевим рахунком, підвищити коефіцієнт завантаження мережного обладнання.

Вищевказане являє собою спрощене пояснення основної ідеї адаптивного управління портами комутатора. На практиці необхідно враховувати ряд умов, що є характерними для задач управління трафіковими навантаженнями: класифікація трафіка, пріоритизація класів трафіка, механізми керування чергами тощо.

Зрозуміло, що в якості об'єкту досліджень за вищевказаним напрямком доцільно вибрати найбільш вартісні елементи обладнання мережі, якими є, в першу чергу, магістральні комутатори, маршрутизатори та шлюзи. Особливо ефективним є використання методу адаптивного управління у мережах, трафік котрих має пульсуючий характер із великим розмахом сплесків.

Виклад основного матеріалу досліджень. У даній роботі динамічне регулювання смуг пропускання портів комутатора пропонується виконувати на основі «проріджених» даних моніторингу характеристик потоків пакетів на його портах. Ці «проріджені» дані пропонується використати для побудови у реальному часі функціональних аналітичних залежностей, що апроксимують реальні залежності значень динамічних характеристик потоків від часу. Апроксимацію пропонується здійснювати шляхом сплайн-інтерполяції даних моніторингу трафіку (точніше, даних, що отримані як результат вимірювань динамічних характеристик потоків пакетів) на портах комутатора з використанням, наприклад, кусково-поліноміальних сплайнів для неперіодичних функцій. Методи сплайн-інтерполяції детально викладені у багатьох публікаціях, що присвячені теорії функцій, зокрема у [4, 5].

З урахуванням вищевказаного представляється наступна схема адаптивного перерозподілу пропускної здатності комутуючого пристрою між його портами. Першим обов'язковим елементом процесу авторегулювання смуг пропускання портів комутатора є моніторинг потоків пакетів на усіх його портах у межах часового відрізка $[t_0, T_c]$. Моніторинг здійснюється щодо динамічної характеристики по-

току пакетів на кожному із портів. Процес моніторингу, що відображений на верхньому рядку рис. 1, являє собою ітеративну процедуру, що послідовно виконується у часі і складається із кінцевої кількості кроків.

Перший крок процедури починається у момент $t_0^{(1)}$, другий крок – у момент $t_0^{(2)}$, i -ий крок – у момент $t_0^{(i)}$ і т.д. У свою чергу, з метою здійснення поліноміальної сплайн-інтерполяції тривалість кожного кроку процедури розбивається на ще більш менші часові інтервали 1, 2, 3, ..., K , ..., n , де K – кількість вимірювань функції $v(t)$ на i -ому кроці, а n – загальна кількість вузлів інтерполяції (що співпадає із ступенем інтерполяційного поліному). Іншими словами, із певним вельми малим інтервалом часу на протязі тривалості кожного кроку ітеративної процедури, вибір котрого виконується виходячи із вищерозглянутих умов, на кожному із портів комутатора послідовно у часі береться K відліків «миттєвих» значень динамічної характеристики потоку $v(t)$ (див. другий рядок зверху на рис. 1).

І далі на базі отриманих вимірних даних виконується апроксимація випадкової функції $v(t)$ розглянутим вище методом поліноміальної сплайн-інтерполяції. Береться поліном n -ого ступеню. Значення відліків для перших K вузлів інтерполяції вимірюються, а значення інших $(n - K)$ вузлів передбачаються. Потім на другому кроці ітеративної процедури виконується апроксимація на наступних K вузлах інтерполяції із передбаченням «поведінки» потоку на $(n - K)$ вузлах і т.д. аж до моменту часу T_c . Як бачимо із рис. 1, на кожному кроці перші K часових проміжків пов'язані із отриманням даних щодо реальної «поведінки» функції $v(t)$, а наступні часові проміжки, що йдуть після K -го, у кількості $(n - K)$ пов'язані із прогнозуванням «поведінки» функції $v(t)$. Після накопичення необхідних даних (тобто, після закінчення K -го відліку динамічної характеристики) на кожному кроці ітеративної процедури виконується поліноміальна апроксимація та передбачення розглянутим вище методом. Як результат знаходиться у аналітичній формі прийнятне наближення до дійсної залежності динамічної характеристики кожного із потоків від поточного часу.

В якості критерію точності інтерполяції доцільно використати критерій ε_n – обмеженої нев'язки:

$$p[v(t), P_m(t)] \leq \varepsilon_n, \quad t \in [t_n, t_{n+1}], \quad (10)$$

де $v(t)$ – значення динамічної характеристики потоку; $P_m(t)$ – поліноміальний інтерполант динамічної характеристики потоку; $p[\cdot]$ – задана відстань у відповідному метричному просторі. Критерій ε_n – обмеженої нев'язки запишемо у вигляді

$$\sup_{t \in [t_n, t_{n+1}]} |v(t) - P_m(t)| \leq \varepsilon_n. \quad (11)$$

Інтерполяційний поліном $P_m(t)$ обирається із мінімальним ступенем, тобто $m = m_{min}$. Вибір здійснюється за наступним критерієм:

$$m_{min} = \arg \min P_n(t). \quad (12)$$

Увівши нове позначення

$$M_m = \sup_{t \in [t_n, t_{n+1}]} \left| \frac{d^m}{dt^m} v(t) \right| \quad (13)$$

та використовуючи співвідношення (8) замість (11), критерій ε_n – обмеженої нев'язки записують у вигляді

$$\sup_{t \in [t_n, t_{n+1}]} |v(t) - P_m(t)| \leq \frac{M_{m+1}}{(m+1)!} \sup_{t \in [t_n, t_{n+1}]} |\omega_m(t)| \leq \varepsilon_n. \quad (14)$$

Якщо задатися значенням ε_n із (14), то стане можливим шляхом обчислення підібрати такі значення m і M_{m+1} , за яких буде забезпечуватися потрібна точність інтерполяції. При цьому значення кроку $t_{i+1} - t_i$, $i = 1, 2, \dots, K$ обирають таким чином, щоб зменшити значення похибки інтерполяції, а саме, щоб вузли інтерполяції співпадали із коренями багаточлена Чебишева. У цьому випадку

$$t_i = \frac{t_n + t_{n+1}}{2} - \frac{t_{n+1} - t_n}{2} \cos\left(\frac{2i-1}{2m} \pi\right), \quad i = 1, 2, K, m, \quad (15)$$

і для оцінки зверху величини $\omega_{m+1}(t)$ стане можливим скористатися наступною формулою:

$$\sup_t |\omega_m(t)| \leq 2 \left(\frac{t_{n+1} - t_n}{4} \right)^m. \quad (16)$$

Під час опрацювання у реальному часі швидкоплинних динамічних характеристик потоків доводиться фіксувати значні обсяги даних, що може суттєво завантажити обчислювальні ресурси комутатора. Тому у процесі апроксимації доцільно використати запропонований у [10] спосіб прорідження даних, що дозволяє без погіршення точності інтерполяції суттєво скоротити обсяги необхідних вимірювань.

Розглянемо ситуацію, коли значення певної функції $v(t)$ у моменти часу t_{r+s} фіксуються та запам'ятовуються, а проміжні $v(t_{r+s})$, відновлюються відповідно до якоїсь інтерполяційної формули, при цьому $r = 0, 1, \dots, R$, $s = 0, 1, \dots, s_{max}$. Спочатку за $(s_{max} + 1)R + 1$ моментів часу $R + 1$ значень функції фіксуються та запам'ятовуються, а потім $s_{max} R$ значень відновлюються наближено.

Сумарна похибка може бути визначена у рамках одної із двох можливих метрик:

$$\varepsilon_{s1} = \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{s=0}^{s_{max}} |P_m(t_{r+s}) - v(t_{r+s})|, \quad (17)$$

$$\varepsilon_{s2} = \left\{ \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{s=0}^{s_{max}} |P_m(t_{r+s}) - v(t_{r+s})| \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (18)$$

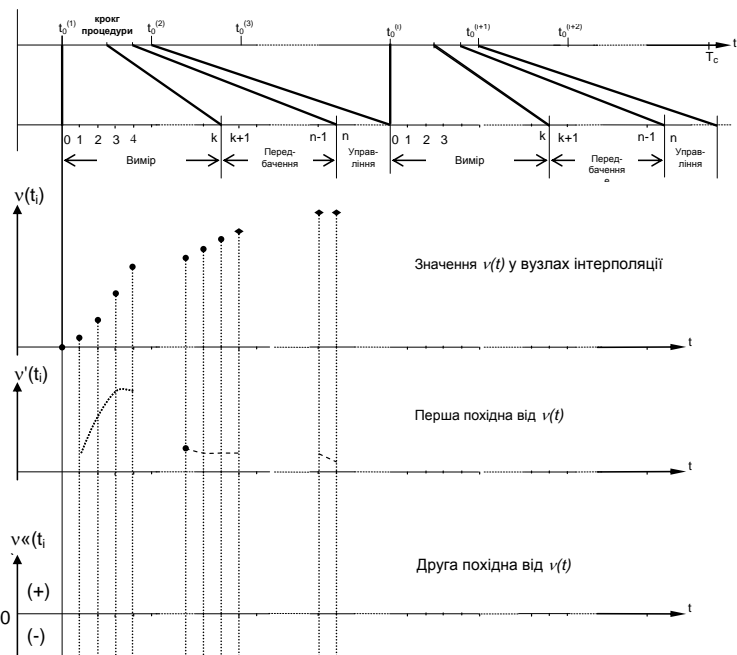


Рис. 1. Ілюстрація процедури реалізації методу динамічного перерозподілу пропускної здатності комутатора між його портами

Далі після знаходження апроксимуючої функції на кожному кроці ітеративної процедури знаходяться наближення в аналітичній формі для першої та другої похідних від отриманого аналітичного виразу, що апроксимує $v(t)$, тобто знаходяться наближені вирази для швидкості потоку пакетів $b(t)$ та для прискорення потоку $b'(t)$. Значення цих похідних від функції $v(t)$ у вузлах інтерполяції, що отримуються на кожному кроці ітераційної процедури, слід вважати вичерпною інформацією для управління регуляторами служби QoS (Quality of Service). Нижні три рядки на рис. 1 відображають відповідно відліки випадкових функцій $v(t)$, $b(t)$ та $b'(t)$ на першому кроці ітеративної процедури. Як розпорядитися цією інформацією у цілях раціонального перерозподілу пропускної здатності комутатора між його портами? Які з цієї метою синтезувати правила управління механізмами регулювання? Відповіді на ці запитання залежать від багатьох факторів, аналіз котрих виходить за межі цієї публікації. У принципі, знання про значення похідних від динамічних характеристик потоків пакетів у вузлах інтерполяції на кожному кроці ітеративної процедури і для кожного із портів комутатора дозволяє здійснити постановку та вирішення задачі синтезу оптимальної системи авторегулювання механізмом перерозподілу пропускної здатності комутатора, наприклад на основі методу динамічного програмування Р. Белмана. Проте на практиці існує можливість задовольнитися більш простими, хоч і менш ефективними, правилами управління механізмами регулювання.

Оцінки похідних сплайн-інтерполяції динамічної характеристики потоку згідно (9) у випадку постійного кроку $t_{n+1} - t_n = (T_c - t_0) / N = h$ гарантують сходимість

$$\frac{d^s}{dt^s} \tilde{v}(t) \text{ до } \frac{d^s}{dt^s} v(t) \text{ з порядком } h^{m+1+s}, s = 0, 1, K, m \quad [9].$$

Розповсюджуючи підхід на основі критерію ε_n – обмеженої нев'язки на похідні сплайн-інтерполяції стане можливим представити критерій точності у наступному вигляді:

$$h^{m+1+s} \leq \varepsilon_n^{[s]}, t \in [t_n, t_{n+1}], s = 0, 1, K, m. \quad (19)$$

Послідовно оцінюючи значення $\varepsilon_n^{[s]}$ для обраних значень s , із (19) доцільно шляхом обчислень підібрати таке значення h^{m+1+s} при котрому буде забезпечуватися висока точність похідних сплайн-інтерполяції. При цьому значення кроку $t_{n+1} - t_n$ будемо обирати таким чином, щоб зменшити значення похибки похідних сплайн-інтерполяції, змінюючи, за необхідністю, представлення часового інтервалу $[t_0, t] = \bigcup_{n=0}^{N-1} [t_n, t_{n+1}]$, та повторюючи усю розглянуту вище послідовність дій. У підсумку можливо визначити поліноміальну сплайн-інтерполяцію, якій буде притаманна висока точність апроксимації як самої динамічної характеристики $v(t)$, так і її похідних.

В якості прикладу відносно простої схеми регулювання, що використовує інформацію тільки про значення другої похідної від динамічної характеристики потоків на портах комутатора, але із використанням знань щодо «майбутньої поведінки» цих потоків, можливо запропонувати наступне. Щоб використати усю інформацію про прискорення потоку на r -ому порту, як виміряну так і прогнозовану, на i -ому кроці ітераційної процедури регулювання, проінтегруємо значення отриманого наближення

для другої похідної від динамічної характеристики цього потоку у розрізі усіх n вузлів інтерполяції на розглянутому кроці ітерації:

$$I_r = \int_{t_0^{(i)}}^{t_n^{(i)}} v_r''(t_l) dt, \quad (20)$$

де t_l – вузли інтерполяції, r – номер порту комутатора, (i) – номер кроку ітераційної процедури.

Якщо виявиться, що $I_r > 0$, то можливо стверджувати, що на r -ому порту комутатора у середньому існує тенденція до збільшення інтенсивності потоку пакетів (при цьому враховуються як реально спостережена, так і прогнозована поведінка потоку). Якщо виявиться, що $I_r < 0$, то можливо стверджувати, що на r -ому порту комутатора у середньому існує тенденція до зменшення інтенсивності потоку пакетів. Якщо $I_r = 0$, то інтенсивність потоку у середньому не змінюється. З урахуванням вищенаведеного можливо запропонувати наступне правило регулювання механізмом перерозподілу. Якщо на якомусь r -ому порту виявиться $I_r < 0$, а на цьому ж кроці ітераційного процесу на іншому, наприклад, p -ому порту виявиться $I_p > 0$, то напередодні обумовлена частка ширини смуги r -го порту віднімається від цього порту та добавляється до ширини смуги p -го порту. У будь-якому іншому випадку перерозподіл ресурсу комутатора не виконується. Звернемо увагу, що безпосередньо механізм перерозподілу виконується штатними засобами обладнання, яке реалізує певну телекомунікаційну технологію. Найбільш розвинутий цей механізм у технології АТМ [3].

Можливо запропонувати й інше правило регулювання. Якщо обчислене значення інтегралу від $b'(t)$ на одному із портів комутатора виявилось із позитивним знаком та досягло наперед визначеного порогового рівня за умов, коли на інших портах комутатора інтегральні значення прискорення потоків не виявили суттєвих змін, то у комутаторі активізується механізм перерозподілу пропускної здатності у напрямі збільшення смуги пропускання того порту, на котрому зафіксовано збільшення інтегрального значення другої похідної від динамічної характеристики потоку. Точніше, механізм перерозподілу активізується у момент досягнення визначеного для цієї похідної порогового рівня. Порогові рівні, у свою чергу, визначаються експериментальним шляхом у процесі функціонування комутатора з урахуванням реальних умов його експлуатації. У протилежному випадку, коли інтегральне значення другої похідної буде суттєво зростати, Але з мінусовим знаком, то механізм перерозподілу почне зменшувати ту частку пропускної здатності комутатора, котра тимчасово «закріплена» за даним портом, на користь інших портів.

Система управління комутатором на кожному кроці ітеративної процедури має встигнути виконати, перш ніж почнеться наступний крок процедури, усі необхідні обчислення, що пов'язані з побудовою необхідних аналітичних виразів, їх математичними перетвореннями та з генеруванням сигналів впливу на виконавчі механізми служби QoS у відповідності з прийнятими правилами адаптивного регулювання пропускної здатності комутатора. Таке «встигання» має здійснюватися за рахунок раціонального вибору необхідної точності апроксимації даних моніторингу потоків пакетів на портах комутатора, ступеню інтерполяції та параметрів процедури проріджування даних.

Висновки. Досліджено метод динамічного перерозподілу потоків між портами пристрою пакетної комутації, що дозволяє збільшити припустиме навантаження пакетного комутатора без суттєвого погіршення якості надання мережних послуг. Метод засновано на поточній сплайн-інтерполяції у реальному часі динамічних характеристик пульсацій трафіку на портах пакетного комутатора та на адаптивному авторегулюванні смуг пропускання портів комутатора в залежності від характеристик пульсацій трафіку. Обраний спосіб поліноміальної сплайн-інтерполяції із використанням поліному ступеню n дозволяє шляхом цілеспрямованого вибору вузлів інтерполяції, варіюванням довжини часового інтервалу, на котрому формується інтерполяційний поліном, та ступенем інтерполяції отримати необхідну точність апроксимації реальних пульсацій трафіку. В якості критерію точнос-

ті сплайн-інтерполяції пропонується використати критерій ε -обмеженої нев'язки. Вибір управлінських впливів на виконавчі механізми системи авторегулювання базуються не тільки на апостеріорних знаннях «поведінки» потоків пакетів на портах комутатора, але і на результатах передбачення «поведінки» потоків у майбутньому. Для скорочення обсягу оброблюваних даних в процесі інтерполяції запропоновано використати звісні методи прорідження експериментально отриманих даних. Наведено приклади правил авторегулювання смугами пропускання портів комутатора, котрі можуть знайти застосування на практиці.

Впровадження запропонованого методу у практику керування трафіковими навантаженнями дозволяє суттєво підвищити коефіцієнт використання мережевого обладнання без помітного погіршення якості надання телекомунікаційних послуг.

Список літератури:

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд. – Санкт-Петербург: Питер, 2003. – 864 с.
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2001. – 512 с.
3. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. – Москва: Эко-Трендз, 1997. – 232 с.
4. Корнейчук Н.П. Сплаины в теории приближений. – Москва: Наука, 1984. – 352 с.
5. Алберг Дж. Теория сплайнов и её приложения. – Москва: Мир, 1972. – 316 с.
6. Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телеграфика: Учебник для вузов. – Москва: Радио и связь, 1996. – 272 с.
7. Кашин Б.С., Саакян А.А. Ортогональные ряды. – Москва: Наука, 1984. – 496 с.
8. Рябенский В.С. Введение в вычислительную математику: Учебное пособие для вузов. – Москва: Физматлит, 1994. – 336 с.
9. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и математическое обеспечение. – Москва: Мир, 1998. – 575 с.
10. Аджемов А.С., Синева И.С. Метод аналогово-цифровых преобразований на основе сплайн-интерполяций. – Москва: Электросвязь, 1998. – № 2. – С. 37-39.
11. Клименко В.П. Основные принципы квантизации // Кибернетика, 1990. – № 2. – С. 49-56.

Мхамед Ибрагим Ахмад Альмар

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОРТАМИ ПАКЕТНОГО КОММУТАТОРА

Аннотация

Исследован метод динамического перераспределения потоков между портами устройства пакетной коммутации, который позволяет увеличить допустимую нагрузку на сетевое оборудование без существенного ухудшения качества предоставляемых сетевых услуг. Метод базируется на текущей сплайн-интерполяции в реальном времени динамических характеристик пульсаций трафика на портах пакетного коммутатора и на адаптивном авторегулировании полос пропускания портов коммутатора в зависимости от характеристик пульсаций трафика. Выбранный способ полиномиальной сплайн-интерполяции позволяет получить необходимую точность аппроксимации реальных пульсаций трафика. Для сокращения объема обрабатываемых данных в процессе интерполяции предлагается использовать известные методы прореживания экспериментальных данных. Приведены примеры правил авторегулирования полосами пропускания портов коммутатора, реализующих рассмотренный метод.

Ключевые слова: компьютерные сети, узловое оборудование, адаптивное управление, пакетный трафик, тренд трафика

Mhamad Abraham Ahmad Alomar

Kyiv National University of Construction and Architecture

STUDY OF ADAPTIVE PACKET SWITCH PORT MANAGEMENT

Summary

The method of dynamic redistribution of streams is investigational between ports of device of package commutation, that allows to increase the possible loading of network equipment without the substantial worsening of quality of network services. A method is based on current spline interpolation real-time dynamic descriptions of pulsations of traffic on ports of package switchboard and on adaptive automatic control of stripes of key-in of ports to the switchboard depending on descriptions of pulsations of traffic. The select method of spline interpolation allows to get necessary exactness of approximation of the real pulsations of traffic. For reduction of volume of the processed data in the process of interpolation it is suggested to use the methods of thinning out of experimental data. The examples of rules of automatic control of key-in of ports of switchboard, that will realize the considered method, stripes are given.

Keywords: Networks, node equipment, adaptive control, package traffic, trend of traffic